

## 株式会社リコー 電子デバイスカンパニー

## CL=12.5pF の水晶振動子をご使用になる場合の調整方法

弊社の多くの RTC では、使用する水晶振動子として CL = 6-8pF のものを推奨しています。しかし、水晶メーカーの中には CL = 12.5pF の水晶を標準水晶振動子として販売している所も多々あります。これらの水晶振動子を使用した場合の弊社 RTC の使用方法についてご説明いたします。

以下で下記の項目について説明いたします。

- ・ 対象となる弊社 RTC
- ・ 水晶振動子の CL 値とは
- ・ CL = 12.5pF の水晶振動子を使用すると
- ・ 時計誤差補正回路を使って時計を合わせ込む方法
- ・ 評価確認の方法
- ・ 時計誤差補正回路使用上の注意

## &lt;対象となる弊社 RTC&gt;

本文書の説明の対象となる弊社リアルタイムクロックは下記のとおりです。

	8pin SSOP	10pin SSOP	10pin SSOP-G	FFP12	16pin SSOP
4 線式シリアル (SPI バス)	-	RS5C348A/B	RV5C348A/B	R2043K	-
3 線式シリアル	-	RS5C338A	RV5C338A RV5C339A	R2061Kxx	-
I <sup>2</sup> C バス	RS5C372A/B	-	RV5C386A RV5C387A	R2051Kxx	R2051Sxx

## &lt;水晶振動子の CL 値とは&gt;

下図は、ごく一般に CMOS IC で使われている発振回路です。

水晶振動子を発振回路と接続して使用する際に、水晶振動子に並列に接続される容量が CL と一致した時に常温で所望の周波数で発振します。

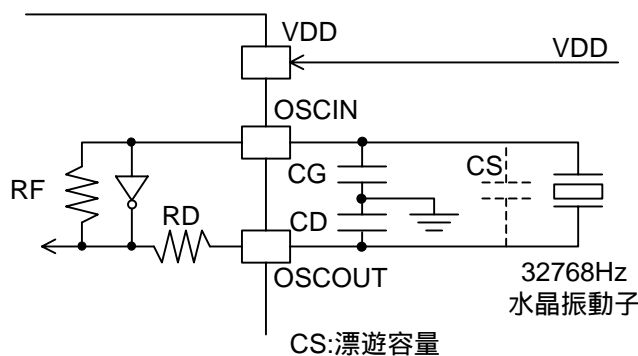
下図のような回路の場合、

$CS + CG \times CD / (CG + CD) = CL$  と、なった時に、常温で 32768Hz で発振します。

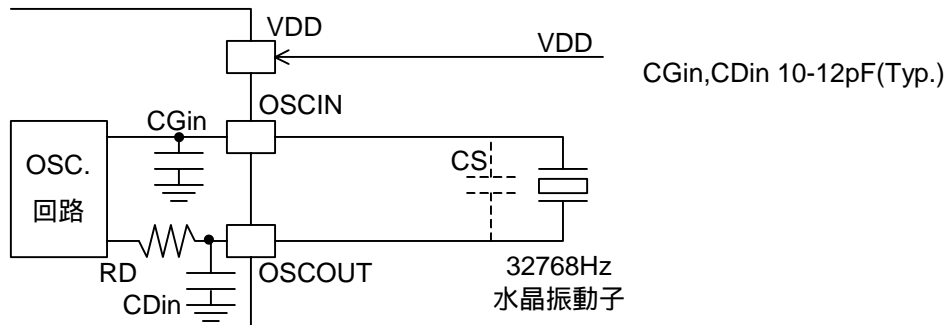
また、

$CS + CG \times CD / (CG + CD) < CL$  の時、32768Hz より早い周波数で発振し、

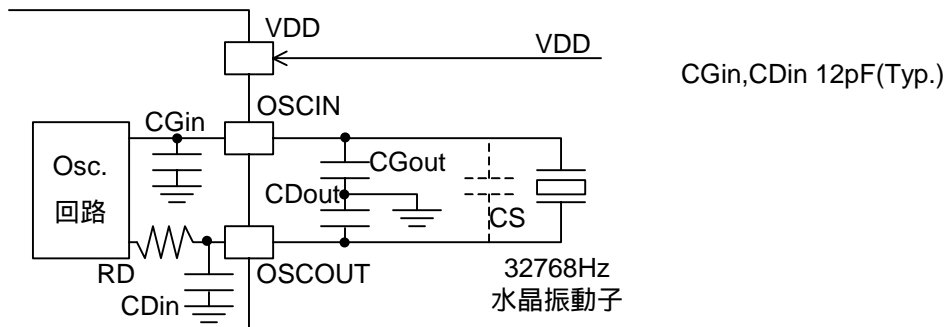
$CS + CG \times CD / (CG + CD) > CL$  の時、32768Hz より遅い周波数で発振します。



< CL = 12.5pF の水晶振動子を使用すると >  
 弊社の前頁に記載した RTC は CG, CD が既に内蔵されております。



CL = 12.5pF の水晶振動子を使用する時は、前頁の式で単純に計算すると、下図のように CGout = CDout = 12pF で 32768Hz の出力が得られるはずですが。(ただし CS=0.5pF とする)



実際に RV5C338A で実験をすると、以下のようにになりました。

	CGout=CDout=0pF (CGout, CDout を 使用しない場合)	CGout=CDout=12pF (CGout, CDout を 挿入した場合)
発振周波数	32770.49Hz	32767.96Hz
発振周波数偏差 (32768Hz 基準)	+75.99ppm	-1.22ppm
計時消費電流	0.35 μA	0.53 μA
発振維持電圧	0.90v	1.04v
負性抵抗	-719k	-164k

VCC = 3v, Ta = 25 水晶にはマイクロクリスタル製 MS2V-TS(CL = 12.5pF)を使用

ほぼ所望の周波数が得られますが、消費電流が約 0.2μA 上昇し、発振維持可能な電源電圧も悪くなります。発振回路の負性抵抗も悪化し、発振余裕度がかなり危険な水域まで低下します。

水晶振動子が発振回路で安定な発振をするためには、回路の負性抵抗が、振動子の等価直列抵抗に対して充分大きい事が必要です。発振余裕度は振動子の等価直列抵抗(水晶振動子のスペックに記載されております)と負性抵抗の和を等価直列抵抗で割った値で、一般に 5 倍以上が一つの目安となります。負性抵抗の定義、測定方法は多くの水晶振動子のカタログに記載されており、そちらを参照ください。(発振評価をする際は本文章最後の<注意>も参照ください。)

一般に CGout, CDout を挿入した場合、以下の問題がでます。

- (1) CDout を大きくすると消費電流が増加する。
- (2) 発振維持可能な電源電圧が高くなる。
- (3) 発振余裕度が低下してしまう。

以上のような状況から、弊社では CGout = 15pF、CDout = 0pF での使用を推奨しています。

それでは、どのようにして時計の進み遅れを調整したら良いでしょうか？

< 時計誤差補正回路を使って時計を合わせ込む >

使用する水晶メーカーの水晶振動子や使用する基板の条件によっても異なりますが、一般に CG, CD 両方を内蔵した弊社 RTC と CL = 12.5pF の水晶振動子を組み合わせると、CGout = CDout = 0pF で使用すると、発振周波数が 70 から 90ppm 進む場合が多いです。これは日差に換算すると約 6 から 8 秒に相当します。

初めに述べました弊社 RTC には時計誤差補正回路が内蔵されており、時計誤差補正レジスタに値を書き込むことで、最大 ±189ppm までの時計の進み遅れを調整可能です。CL = 12.5pF の水晶振動子を使用した場合の時計の進みは充分補正可能な範囲に入っています。

時計が進む場合、以下の式で計算される値を時計誤差補正回路に書き込みます。

$$\text{補正值} = (\text{発振周波数} - \text{ターゲット周波数}) \times 10 + 1$$

ここでいうターゲット周波数は、合わせ込みたい時計の発振周波数です。となると、ターゲット周波数 = 32768Hz と、言うことになりそうですが、ここでちょっとしたコツがあります。32768Hz の水晶振動子の温度特性は 25 付近を頂点とした放物線を描きます。つまり 25 近傍で評価して、32768Hz にあわせ込んだ場合、時計は必ず遅れてしまいます。そこで、若干ターゲット周波数を 32768Hz より大きくします。使用される環境にもよりますが、だいたい 32768Hz から 32768.1Hz の間であわせ込むのがベストでしょう。

例として、前頁で評価した水晶振動子であわせ込む場合を計算してみます。前頁の評価では、発振周波数 = 32770.49Hz (CGout=CDout=0pF の時) でした。ターゲット周波数 = 32768.05Hz としますと、

$$\text{補正值} = (32770.49 - 32768.05) \times 10 + 1 = 25.4 \quad 25$$

25 は 16 進表現で 19h ですので、アドレス 7h に (00011001) を書けば良いことになります。

\* ) R2051Kxx と R2061Kxx では、補正值を細かく設定できるモードもあります。

しかし、本モードで補正可能範囲は -63ppm から +63ppm までです。今回のようなケースでは補正可能範囲を超えてしまいます。

< 評価確認の方法 >

時計誤差補正回路は、20 秒に一度だけ 1 秒の長さを変えて時計の進み遅れを調整します。発振回路の発振周波数自身を調整する訳ではありません。従って、32KOUT 端子を持っている IC でもその端子から出力される 32768Hz 出力を見て、補正ができていないかを確認することはできません。

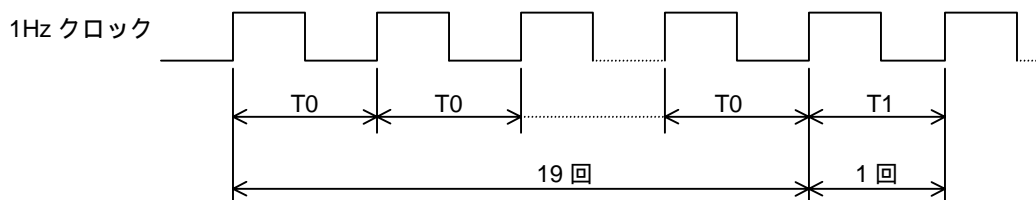
評価確認を行う時には、以下の方法を用います。

(1) 割り込み端子よりパルスモード 1Hz クロックを出力させる。

出力端子および設定方法は IC によって異なりますので、以下の表を参照して下さい。

	設定	出力端子
RS5C372A	アド・以 Eh (00000011)	/INTRA(5 番端子)
RS5C372B		/INTR(5 番端子)
RS/RV5C338A		/INTR(6 番端子)
RV5C339A		/INTRA(6 番端子)
RS/RV5C348A/B	アド・以 Eh (00XX0011)	/INTR(6 番端子)
RV5C386A/387A		/INTRA(6 番端子)
R2043K		/INTR(10 番端子)
R2051Kxx/R2061Kxx		/INTR(9 番端子)
R2051Sxx		/INTR(10 番端子)

(2) 時計誤差補正回路を使用すると出力される 1Hz クロックは下図のように 20 秒に 1 回だけ周期が変わります。



周波数カウンタを利用して T0 と T1 の周期を測定します。この時、周期は 7 桁以上の精度で求めることを推奨します。

(3) T0 と T1 から平均周期を求めます。

$$T = (19 \times T0 + 1 \times T1) / 20$$

求めた周期から時計の誤差を計算します。

例として、前頁の補正を行った

発振周波数=32770.49Hz 補正值 = 19h の時、どのようになるか計算してみます。

測定すると

T0 = 0.99992402 T1 = 1.00138875 でした。

$$T = (19 \times 0.99992402 + 1 \times 1.00138875) / 20 = 0.99999726$$

日差 = (1 - 0.99999726) × 60 秒 × 60 分 × 24 時間 = 0.24 秒/日進む

になります。元々、少し水晶振動子の温度特性を考慮して常温時若干、時計が進む方向に調整していましたが、補正結果でも、少し時計が進んでいます。

本方法は製品の開発時には使えますが、量産時には時間がかかりすぎて使えません。しかし、時計誤差補正回路がデジタル的な設定のため、32K クロックの周波数と補正值から計算した値で時計の進み遅れは正確に予測可能です。

< 時計誤差補正回路使用上の注意 >

時計誤差補正回路を使用した場合、以下の注意点が必要です。

- (1) RTC には不揮発性メモリを内蔵していませんので、外部で不揮発性メモリを用意して補正值を格納しておく必要があります。補正值は、RTC の電源立上げ時または時刻の設定時に RTC に書き込む必要があります。
- (2) 32K クロック出力は補正がかかりません。32K クロック出力の周波数精度を改善する必要がある時は水晶振動子の CL 値を変更して調整する必要があります。
- (3) 以下の 3 条件が揃う場合には、狙った誤差補正と補正量が若干ズレる場合があります。
  - a) 時計誤差補正回路を用いる
  - b) ランダムに時計にアクセスをするか、RTC とは関係ない外部クロックに同期してアクセスを行うか定周期割り込みのパルスモードに同期してアクセスを行う。
  - c) アクセス頻度が、平均して一秒間に 2 回以上ある詳しくは、弊社にお問い合わせください。

< 注 意 >

弊社多くの RTC は発振開始時間を短くするため、発振ブースターが内蔵されています。発振ブースターは、発振停止を検出すると発振インバーターのドライブ能力を一定期間だけ上げます。このため、発振条件が悪くなると、発振ストップ 発振ブースター始動 発振ブースター停止 発振ストップを繰り返すようになり間欠的な発振になります。間欠発振が起こると、時計は遅れるようになります。従いまして、負性抵抗の評価、発振余裕の評価を行なう際は、間欠発振が始まった時点で発振が停止したと判断する必要があります。

以上